

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-292341

(43)Date of publication of application : 05.11.1996

(51)Int.Cl.

G02B 6/32

G02B 6/10

G02B 6/18

(21)Application number : 07-044456

(71)Applicant : FURUKAWA ELECTRIC CO
LTD:THE

SHIRAISHI KAZUO

MATSUMURA KAZUHITO

(22)Date of filing : 03.03.1995

(72)Inventor : SHIRAISHI KAZUO

MATSUMURA KAZUHITO

OISHI ISAMU

(30)Priority

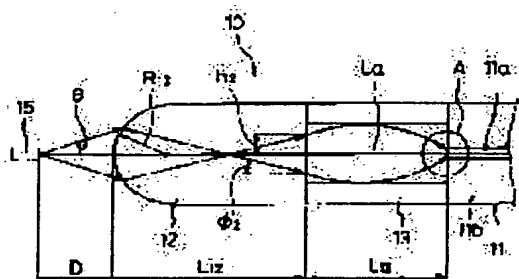
Priority number : 07 35282 Priority date : 23.02.1995 Priority country : JP

(54) FIBER WITH LENS

(57)Abstract:

PURPOSE: To improve a coupling efficiency between constitutive members by specifying the length of a square-law type fiber corresponding to the meandering synchronism of transmitted light.

CONSTITUTION: This fiber 10 provided with lens is used while connecting a single mode fiber(SMF) 11 and a coreless fiber 12 through a square-law type fiber 13 and arranging those fibers while confronting them in an operating distance D with an optical semiconductor element such as a semiconductor laser 15, for example. The SMF 11 is an optical fiber having a core 11a and a clad 11b and one end is spliced through the square-law type optical fiber 13 to the other end of the coreless fiber 12. The coreless



fiber 12 is the fiber having the refraction factor isotropy of no core and a length L12 for which one end is worked on the spherical face of a curvature radius R12. The square-law type optical fiber 12 is a graded index optical fiber having a 1/4 length L13 of the meandering synchronism of transmitted light or odd-number multiple length and square-law type refraction factor distribution.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 06.12.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 05.03.2002

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-292341

(43)公開日 平成8年(1996)11月5日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B	6/32		G 0 2 B	6/32
	6/10			6/10
	6/18			6/18

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平7-44456

(22)出願日 平成7年(1995)3月3日

(31)優先権主張番号 特願平7-35282

(32)優先日 平7(1995)2月23日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(71)出願人 390030878

白石 和男

埼玉県北葛飾郡鷺宮町大字西大輪868

(71)出願人 593001495

松村 和仁

栃木県宇都宮市若草2丁目1番12号 若草
第二住宅1-8号

(72)発明者 白石 和男

埼玉県北葛飾郡鷺宮町大字西大輪868番地

(74)代理人 弁理士 長門 侃二

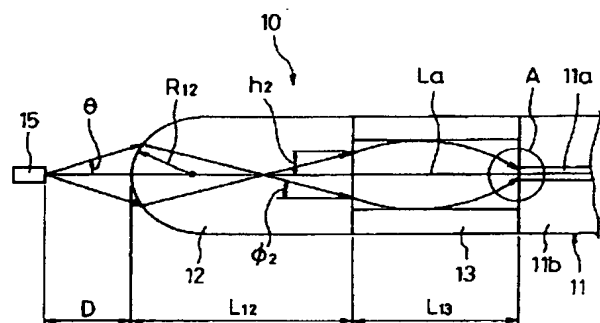
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 レンズ付きファイバ

(57)【要約】

【目的】 構成部材相互間における結合効率を向上させることが可能なレンズ付きファイバを提供する。

【構成】 レンズ付きファイバ10は、コアとクラッドとを有するシングルモードファイバ11の一端と、コアのない等方性の屈折率を有し、一端が凸曲面に加工されたコアレスファイバ12の他端とが、伝送光の蛇行周期の1/4の長さあるいはその奇数倍の長さの二乗形屈折率分布を有する二乗形ファイバ13で接続されている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 コアとクラッドとを有するシングルモードファイバの一端と、コアのない等方性の屈折率を有し、一端が凸曲面に加工されたコアレスファイバの他端とが、伝送光の蛇行周期の $1/4$ の長さあるいはその奇数倍の長さの二乗形屈折率分布を有する二乗形ファイバで接続されていることを特徴とするレンズ付きファイバ。

【請求項 2】 前記シングルモードファイバは、前記一端のコア径が拡大処理されている、請求項 1 のレンズ付きファイバ。

【請求項 3】 前記凸曲面が球面である、請求項 1 のレンズ付きファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、レンズ付きファイバに関する。

【0002】

【従来の技術】 半導体レーザ等の光半導体素子と光ファイバとを高い結合効率の下に結合することは、光通信において最も重要な技術の一つであり、従来、光半導体素子と光ファイバとの間に球レンズや非球面レンズ等のレンズを配置して結合する方法や、図 7 に示すように、コア 1a と共に先端を球面に成形した先球ファイバ 1 を用いて半導体レーザ 5 と結合する方法が知られている。

【0003】 これらの方法のうち、先球ファイバ 1 を用いて半導体レーザ 5 と結合する方法は、レンズを用いないことから小型な結合が可能で、半導体レーザアレイと先球ファイバアレイとの結合も可能である。しかし、この結合方法は、高い結合効率を実現するために、先球ファイバ 1 の先端と半導体レーザ 5 の出射端面 5a との光軸方向の間隔、即ち、作動距離をコア 1a の直径程度の $10\mu\text{m}$ 前後にしなければならない。このため、先球ファイバ 1 と半導体レーザ 5 との結合系を組み立てる際に、相互に接触あるいは衝突することによって破損し、使用不能になることがあるという欠点があった。

【0004】 そこで、このような問題を解決する結合手段として、図 8 に示すレンズ付きファイバ 2 が提案されている。このファイバ 2 は、光ファイバ 3 の先端にコアがなく等方性の屈折率を有し、先端が球面のコアレスファイバ 4 を接続したもので、作動距離 D を大きくすることによって半導体レーザ 5 との接触あるいは衝突を回避したものである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記構成のレンズ付きファイバ 2 は、コアレスファイバ 4 の先端が球面であることから、球面収差によって結合効率が低下するという問題がある。即ち、半導体レーザ 5 から出射される光線は、コアレスファイバ 4 先端の球面に種々の角度で入射し、球面におけるレンズ効果によって集

束されて、光ファイバ 3 とコアレスファイバ 4 との接続面に入射する。このため、光線によっては、光ファイバ 3 とコアレスファイバ 4 との接続面において光ファイバ 3 のコア 3a から外れたり、あるいは、コア 3a に到達しても臨界角以上となってコア 3a 内を伝搬しない場合があり、構成部材相互間における結合効率が低下するという問題があった。

【0006】 本発明は上記の点に鑑みてなされたもので、構成部材相互間における結合効率を向上させることが可能なレンズ付きファイバを提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するため、本発明者らは、先ず、レンズ付きファイバ 2 において、高い結合効率を得るための結合特性を規定する構造パラメータを幾何光学的手法に基づいてモデル的に解析した。即ち、レンズ付きファイバ 2 において、図 8 に示すように、光ファイバ 3 とコアレスファイバ 4 との接続面における光線の入射角 ϕ_i (degree) と光軸 L₁ から測定した入射位置 h_i (μm) との関係を、半導体レーザ 5 からの光線の出射角 θ をパラメータとして 1 度ごとに変化させて解析した。このとき、レンズ付きファイバ 2 は、コアレスファイバ 4 の屈折率を 1.45、作動距離 D = 130, 150, 170 (μm)、コアレスファイバ 4 の長さ L = 1 (mm) 及び曲率半径 R = 75 (μm) とした。この結果を、図 9 に示す。

【0008】 図 9 において、●印は出射角 $\theta = 0^\circ$ の光軸 L₁ 上の光線に基づく入射角 ϕ_i と入射位置 h_i の解析値で、この点を中心として出射角 θ の絶対値 $|\theta|$ が増大するに従って左右方向に斜め逆 N 字状の曲線を描いて入射角 ϕ_i と入射位置 h_i の解析値が変化してゆく。一方、光ファイバ 3 のコア 3a に入射する光は、一般のシングルモードファイバのサイズを考慮すると、入射角 ϕ_i 及び入射位置 h_i が、図中横長の長方形で示す $|\phi_i| \leq 4.8^\circ$ 、 $|h_i| \leq 4.0\mu\text{m}$ の範囲内になければならない。

【0009】 このため、レンズ付きファイバ 2 においては、入射角 ϕ_i の範囲には余裕があるが、光ファイバ 3 におけるコア 3a の半径が小さいため入射位置 h_i の許容範囲が小さいという特徴がある。この特徴が、半導体レーザ 5 から出射したかなりの光線がコア 3a 外となり、結合損失が大きくなる理由であることが分かった。従って、半導体レーザ 5 から出射した光線に関し、入射角 ϕ_i と入射位置 h_i との関係を互いに逆の関係に変換できれば、レンズ付きファイバ 1 における結合効率を向上させることができると考えられる。

【0010】 このとき、レンズは光線の入射角と入射位置とを変換する機能を有していることから、光ファイバ 3 とコアレスファイバ 4 との間にレンズを配置することが考えられる。しかし、レンズは、光ファイバ 3 やコア

レスファイバ4に比べて形状が大きい。え、光ファイバ3やコアレスファイバ4との間で光軸合わせをして結合するには煩雑になるという問題がある。

【0011】そこで、本発明者らは、入射角と入射位置とをレンズを使用することなく逆の関係に変換し得るものとして、二乗形屈折率分布を有する光ファイバの使用を思い至り、本発明をなすに至ったのである。即ち、本発明によれば上記目的を達成するため、レンズ付きファイバを、コアとクラッドとを有するシングルモードファイバの一端と、コアのない等方性の屈折率を有し、一端が凸曲面に加工されたコアレスファイバの他端とが、伝送光の蛇行周期の $1/4$ の長さあるいはその奇数倍の長さの二乗形屈折率分布を有する二乗形ファイバで接続された構成としたのである。

【0012】好ましくは、前記シングルモードファイバは、前記一端のコア径を拡大処理する。更に好ましくは、前記凸曲面を球面とする。

【0013】

【作用】二乗形屈折率分布を有する二乗形ファイバは、コア半径方向に見た場合に屈折率が二次関数、即ち、放物線状の分布を示す。このとき、二乗形ファイバの長さを、伝送光の蛇行周期の $1/4$ の長さあるいはその奇数倍の長さとして、入射角と入射位置との関係が相互に逆の関係に変換される。

【0014】また、シングルモードファイバにおいて一端のコア径を拡大処理すると、拡大処理していないものに比べて、コアレスファイバ中に屈折率のゆらぎが生じた場合でも、二乗形ファイバを通して入射する光線の入射範囲が広がる。更に、コアレスファイバにおいて一端の凸曲面を球面とすると、マイクロトーチやアーク放電*30

$$n = n_0 [1 - r^2 / (2A_s^2)] \quad \dots\dots\dots (1)$$

【0019】また、半導体レーザ15から出射された光線のコアレスファイバ12と二乗形ファイバ13との接続面における光軸 L_s から測定した入射位置を h_2 (μm)、入射角を ϕ_2 (degree) とすると、長さ L_{13} の二乗形ファイバ13中を伝搬してSMF11に入射するときのSMF11と二乗形ファイバ13との接続面における※

$$\begin{bmatrix} h_1 \\ \phi_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \gamma & A_s \cdot \sin \gamma \\ -1/A_s \cdot \sin \gamma & \cos \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_2 \\ \phi_2 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (2)$$

【0021】但し、 γ は、光線の蛇行を表す位相量に相当し、 $\gamma = L_{13} / A_s$ とおいた。一方、二乗形ファイバ13中における光線の蛇行周期は $2\pi A_s$ であるから、 $1/4$ 周期は $(\pi A_s) / 2$ となり、伝送光の蛇行周期の $1/4$ の長さ L_{13} の奇数倍の長さ L_{13} は、次式で与えられる。

*を用いて加工でき、加工が容易である。

【0015】

【実施例】以下、本発明の一実施例を図1乃至図6に基づいて説明する。レンズ付きファイバ10は、図1に示すように、シングルモードファイバ（以下、「SMF」という）11とコアレスファイバ12とが二乗形ファイバ13で接続され、光半導体素子、例えば、半導体レーザ15との間に作動距離Dにおいて対向配置して使用される。

【0016】SMF11は、コア11aとクラッド11bとを有する光ファイバで、一端が二乗形ファイバ13を介してコアレスファイバ12の他端と接続されている。コアレスファイバ12は、コアのない等方性の屈折率を有し、一端が曲率半径 R_{12} の球面に加工された長さ L_{12} のファイバである。二乗形ファイバ13は、伝送光の蛇行周期の $1/4$ の長さ L_{13} あるいはその奇数倍の長さで、二乗形屈折率分布を有するグレーデッドインデックス形光ファイバである。

【0017】ここにおいて、本発明のレンズ付きファイバ10において、二乗形ファイバ13の長さを、伝送光の蛇行周期の $1/4$ の長さあるいはその奇数倍の長さとして、入射角と入射位置との関係が逆の関係に変換される原理を以下に説明する。一般に、二乗形ファイバ13の屈折率 n の分布は、二乗形ファイバ13における光線の集束パラメータを A_s 、二乗形ファイバ13の中心軸からの距離を r 、中心軸での屈折率を n_0 とすると、次式で表される。

【0018】

【数1】

※入射位置 h_1 及び入射角 ϕ_1 （共に図2参照）は、近軸光線を仮定すると光線行列を用いて次式のように表される。

【0020】

【数2】

【0022】

【数3】

$$L_{13} = \pi A_s (N + 1/2) \quad \dots\dots\dots (3)$$

【0023】但し、 $N=0, 1, 2, \dots\dots\dots$ となる自然数である。従って、(2)式は次式のように変形される。

【0024】

$$\begin{bmatrix} h_1 \\ \phi_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & (-1)^N A_e \\ (-1)^{N+1}/A_e & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_2 \\ \phi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (-1)^N A_e \phi_2 \\ (-1)^{N+1} h_2 / A_e \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4)$$

【0025】即ち、SMF11とコアレスファイバ12との間に伝送光の蛇行周期の1/4の長さ L_{13} の奇数倍の長さ L_w を有する二乗形ファイバ13を接続すると、集束パラメータ A_e をパラメータとして、光線の入射角と入射位置との関係が相互に逆の関係に変換されることが分かる。ここで、二乗形ファイバ13の比屈折率差を Δ 、コアの半径を a とすれば、伝送光の蛇行周期 L_w は、次式で与えられる。

【0026】

【数5】

$$L_w = 2\pi A_e = 2\pi a / (2\Delta)^{1/2} \dots\dots\dots (5)$$

【0027】次に、上記した構造の本発明のレンズ付きファイバ10に関し、SMF11と二乗形ファイバ13との接続面における光線の入射角 ϕ_1 (degree)と光軸 L_e から測定した入射位置 h_1 (μm)との関係を、半導体レーザ15からの光線の出射角 θ をパラメータとして1度ごとに变化させて幾何光学的手法に基づいて解析した。この結果を、図3に示す。

【0028】このとき、レンズ付きファイバ10は、コアレスファイバ12の屈折率を1.45、作動距離 $D=130, 150, 170$ (μm)、コアレスファイバ12の長さ $L_{12}=1$ (mm)及び曲率半径 $R_{12}=75$ (μm)とし、二乗形ファイバ13は長さ L_{13} を伝送光(波長 $1.3\mu\text{m}$)の蛇行周期の1/4の長さとし、集束パラメータを $A_e=250$ (μm)とした。集束パラメータ $A_e=250$ (μm)の値は、二乗形ファイバ13において、例えば、コアの半径 $a=50$ (μm)、比屈折率差 $\Delta=0.5\%$ の場合に相当する。図3において、●印は出射角 $\theta=0^\circ$ の光軸 L_e 上の光線に基づく入射角 ϕ_1 と入射位置 h_1 の解析値である。

【0029】図3から明かなように、入射位置 h_1 及び入射角 ϕ_1 は、光線の入射位置 h_1 が小さく、即ち、光軸 L_e に近いのに対し、入射角 ϕ_1 は大きく、斜めS字形状の分布となっている。ここにおいて、図中、横長の長方形で示した領域が、半導体レーザ15から出射した光線がSMF11のコア11aに有効に入射し得る入射位置 h_1 及び入射角 ϕ_1 の範囲を示しており、半導体レーザ15から出射角 θ で出射した光線の多くがSMF11に入射し、レンズ付きファイバ10の結合損失が小さいことが分かる。

【0030】次に、以上の解析結果を考慮し、図4(a)～(f)に示す手順でレンズ付きファイバ10を製造した。まず、図4(a)に示すSMF11の先端に二乗形屈

折率分布を有する二乗形ファイバ13を融着接続し(図4(b))、二乗形ファイバ13を伝送光の蛇行周期の1/4の長さ L_{13} に切断した(図4(c))。

【0031】次に、切断した二乗形ファイバ13の端部にコアのない等方性の屈折率を有するコアレスファイバ12を融着接続し(図4(d))、コアレスファイバ12を約1mmの長さ L_{12} に切断した(図4(e))。次いで、コアレスファイバ12の切断端をアーク放電により加熱溶融し、曲率半径 $R_{12}=75$ (μm)の半球面に加工し、図4(f)に示すレンズ付きファイバ10を製造した。

【0032】そして、製造したレンズ付きファイバ10に、半導体レーザ15から波長 $1.3\mu\text{m}$ の光線を入射させ、作動距離 D を変化させながら結合損失を測定したところ図5に示す結果が得られた。ここで、結合損失は、半導体レーザ15からの直接出射光量に対するSMF11の他端からの出射光量をdB値で測定して求めた。図5から明かなように、作動距離 D が約 $130\mu\text{m}$ のときに、結合損失が最低値(=5dB)となった。この結合損失は、レンズ付きファイバ10の実用上問題とならない程十分小さな値であり、また、作動距離 D は、図7に示した従来の先球ファイバの10倍以上も大きく、半導体レーザ15と干渉する危険性を解消するのに十分満足すべき値であった。

【0033】尚、レンズ付きファイバは、図6に示すように、SMF11のコア11aを二乗形ファイバ13側の端部において外側に向かって拡大するように加工したいわゆるTEC(Thermal Expanded-Core)ファイバを用いてもよい。このように加工すると、二乗形ファイバを通してSMF11に入射する光線の入射範囲を広げることができる。

【0034】

【発明の効果】以上の説明で明かなように、本発明によれば、構成部材相互間における結合効率を向上させることが可能なレンズ付きファイバを提供することができる。また、本発明のレンズ付きファイバは、構成部品が全てファイバ形状であるので、全体として小型軽量である。しかも、本発明のレンズ付きファイバは、構成部品が全てファイバ形状であるため、既存のファイバ融着接続技術を利用して製造できるので、製造が簡単なうえ、大量生産も可能で安価に提供できる等の優れた効果を奏する。

【0035】このとき、本発明のレンズ付きファイバ

は、構成単位のシングルモードファイバにおいて一端のコア径を拡大処理すると、拡大処理していないものに比べて、二乗形ファイバを通して入射する光線の入射範囲を広げることができる。また、コアレスファイバにおいて一端の凸曲面を球面とすると、マイクロトーチやアーク放電を用いて容易に加工することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のレンズ付きファイバを示す側面図である。

【図2】図1のレンズ付きファイバにおけるA部の拡大図である。

【図3】図1のレンズ付きファイバのシングルモードファイバへの入射角 ϕ_1 と入射位置 h_1 に関する作動距離依存性に関する解析結果を示す作動距離特性図である。

【図4】図1のレンズ付きファイバの製造手順を示す説明図である。

【図5】製造したレンズ付きファイバについて実測した作動距離の変化に対する結合損失の変化を示す変化特性図である。

【図6】本発明のレンズ付きファイバの変形例を示す側面図である。

【図7】光半導体素子との結合に用いた従来の先球ファ*

*イバの側面図である。

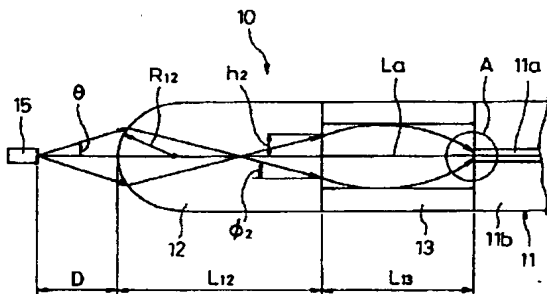
【図8】光半導体素子との結合に用いた従来のレンズ付きファイバを示す側面図である。

【図9】図8のレンズ付きファイバを用いたときの、シングルモードファイバに入射する光線の入射角 ϕ_1 と入射位置 h_1 に関する有効集光範囲を示す集光特性図である。

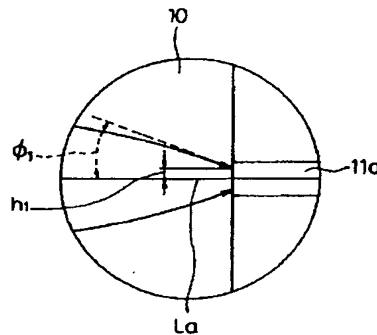
【符号の説明】

10	レンズ付きファイバ
11	シングルモードファイバ
11a	コア
11b	クラッド
12	コアレスファイバ
13	二乗形ファイバ
15	半導体レーザ
D	作動距離
R_{12}	曲率半径 (コアレスファイバの)
L_{12}	長さ (コアレスファイバの)
L_{13}	長さ (二乗形ファイバ13の)
L_1	光軸
h_1, h_2	入射位置
ϕ_1, ϕ_2	入射角

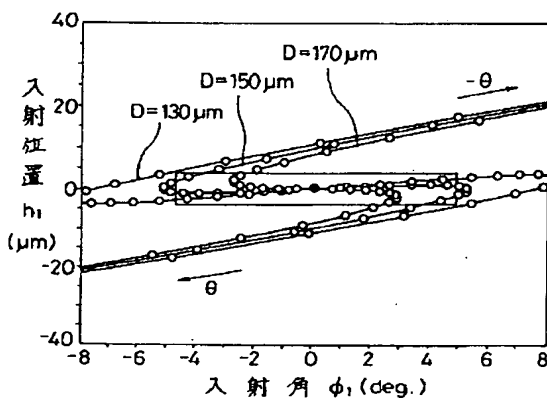
【図1】



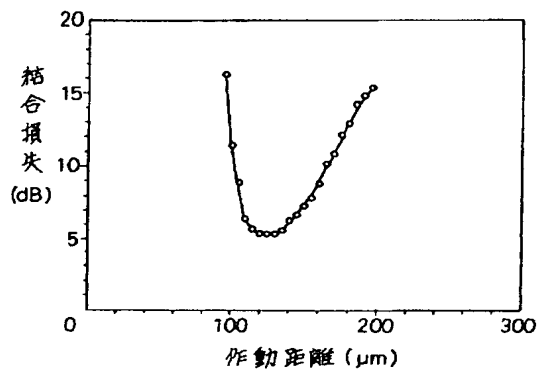
【図2】



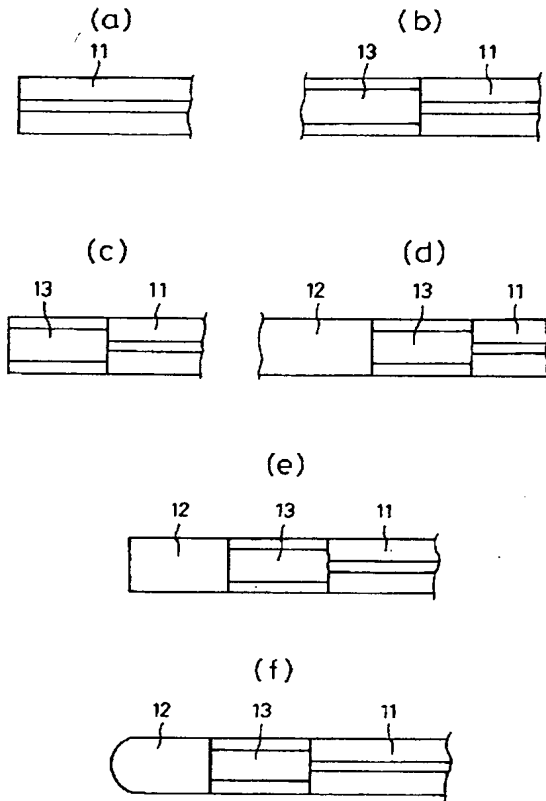
【図3】



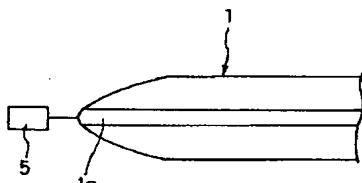
【図5】



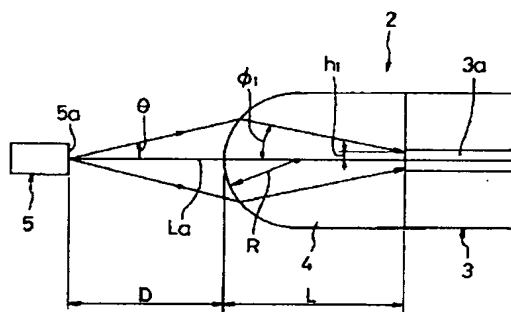
【図 4】



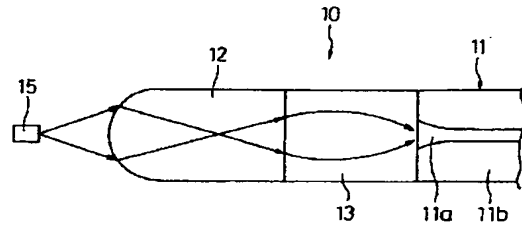
【図 7】



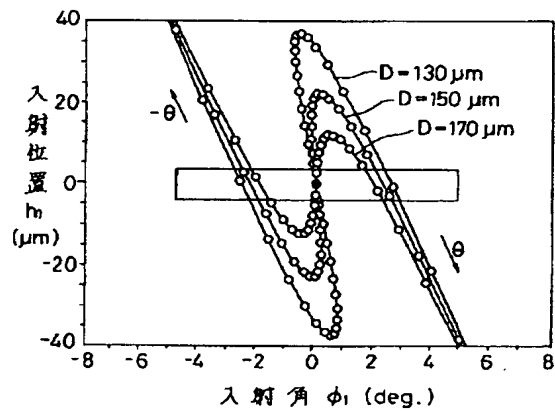
【図 8】



【図 6】



【図 9】



【手続補正書】

【提出日】平成 8 年 2 月 2 1 日

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0025

【補正方法】変更

【補正内容】

【0025】即ち、SMF 11 とコアレスファイバ 12 との間に伝送光の蛇行周期の $1/4$ の長さ L_{13} の奇数倍

の長さ L_{13} を有する二乗形ファイバ 13 を接続すると、集束パラメータ A_e をパラメータとして、光線の入射角と入射位置との関係が相互に逆の関係に変換されることが分かる。ここで、二乗形ファイバ 13 の比屈折率差を Δ 、コアの半径を a とすれば、伝送光の蛇行周期 L は、次式で与えられる。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0028

【補正方法】変更

【補正内容】

【0028】このとき、レンズ付きファイバ10は、コアレスファイバ12の屈折率を1.45、作動距離 $D=130, 150, 170$ (μm)、コアレスファイバ12の長さ $L_{12}=1$ (mm) 及び曲率半径 $R_{12}=75$ (μm) とし、二乗形ファイバ13は長さ L_{13} を伝送光 (波長 $1. \ast$

$3 \mu\text{m}$) の蛇行周期の $1/4$ の長さとし、集束パラメータを $A_s=250$ (μm) とした。集束パラメータ $A_s=250$ (μm) の値は、二乗形ファイバ13において、例えば、コアの半径 $a=25$ (μm)、比屈折率差 $\Delta=0.5\%$ の場合に相当する。図3において、●印は出射角 $\theta=0^\circ$ の光軸 L_a 上の光線に基づく入射角 ϕ_i と入射位置 h_i の解析値である。

フロントページの続き

(72)発明者 松村 和仁
栃木県宇都宮市若草2丁目1番12号 若草
第二住宅1-8号

(72)発明者 大石 勇
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
河電気工業株式会社内